Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy

مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

مقاله پژوهشی

مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران
سال سی و دوم، شمارهٔ چهارم، زمستان ۱۴۰۳، از صفحهٔ ۶۲۹ تا ۶۴۴

# بررسی کانی‌سازی، زمین‌شیمی و سیال درگیر کانسار مس‌خانکشی، استان مرکزی (ایران)

رضوان پورمعصومی*[1]، علیرضا جعفری راد[1]، محمد لطفی[2]، پیمان افضل[3]

۱- گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
۲- گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال و پژوهشکده علوم زمین وابسته به سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران
۳- گروه مهندسی معدن، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، تهران، ایران

(دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۱۱/۲۵، نسخه نهایی: ۱۴۰۳/۲/۸)

**چکیده:** کانسار مس خانکشی در استان مرکزی و در ۸۰ کیلومتری جنوب غرب تهران واقع است. این کانسار از توالی سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری بیشتر جنس تراکی آندزیت و آندزیت با سن ائوسن تشکیل شده است. جانشینی پیریت با کالکوپیریت و بورنیت، بصورت بلورهای ریز کروی در زمینه میکرایتی اولیه و نیز ته‌نشست این دو کانی توسط محلول‌های گرمابی بصورت بلورهای نیمه شکل دار درون رگه و رگچه‌های دولواسپارایت ناشی از تبلور سنگ‌های کربناتی میکرایتی به شکل روزادی بوده است؛ آنها فرآورده‌های ثانویه برونزاد را تولید نموده‌اند و همراه با آذرآواری‌ها و توف‌های برشی وابسته نماینده یک چرخه آتشفشانی هستند که بصورت چینه کران در آن کانه‌زایی مس رخ داده است. با حضور کانی‌های همیافت، دگرسانی پروپیلیتی در کنار سایر دگرسانی‌ها، دگرسانی معمول خانکشی بوده که شدت آن در کانه‌زایی سنگ میزبان بیشتر است. براساس نتایج بررسی‌های شیمی، کانی‌های آلبیت، کلسیت، کوارتز و کائولینیت در فاز اصلی حضور دارند که نشانگرحضور دگرسانی پروپیلیتی هستند و به مقدار کمتر دگرسانی آرژیلیک و اکسایش آهن را نشان می‌دهند. همچنین بررسی‌های زمین‌شیمی خانکشی نشانگر رخداد آتشفشانی هستند و ماهیت پتاسیم قلیایی بالا دارند و در اثر فرایندهای کششی در کرانه حوضه پشت کمانی قرار گرفته‌اند. میانبارهای سیال، دمای همگن‌شدگی را بین ۱۲۹٫۴ تا ۲۲۷٫۱ درجه سانتیگراد و گستره تغییرات شوری را از ۱٫۹۱ تا ۱۳٫۴ درصدوزنی نمک طعام نشان می‌دهند. عمق به دام افتادن میانبارهای سیال در این کانسار، کمتر از ۲۰۰ متر و فشار کمتر از ۷۴ بار است. این کانسار بر پایه ویژگی‌های زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، بافت و ساخت، زمین‌شیمی و داده‌های به دست آمده از میانبارهای سیال، قابل مقایسه با کانسارهای مس نوع مانتو است.

**واژه‌های کلیدی:** *کانه نگاری؛ زمین شیمی؛ میانبارسیال؛ مس نوع مانتو؛ خانکشی.*

## مقدمه

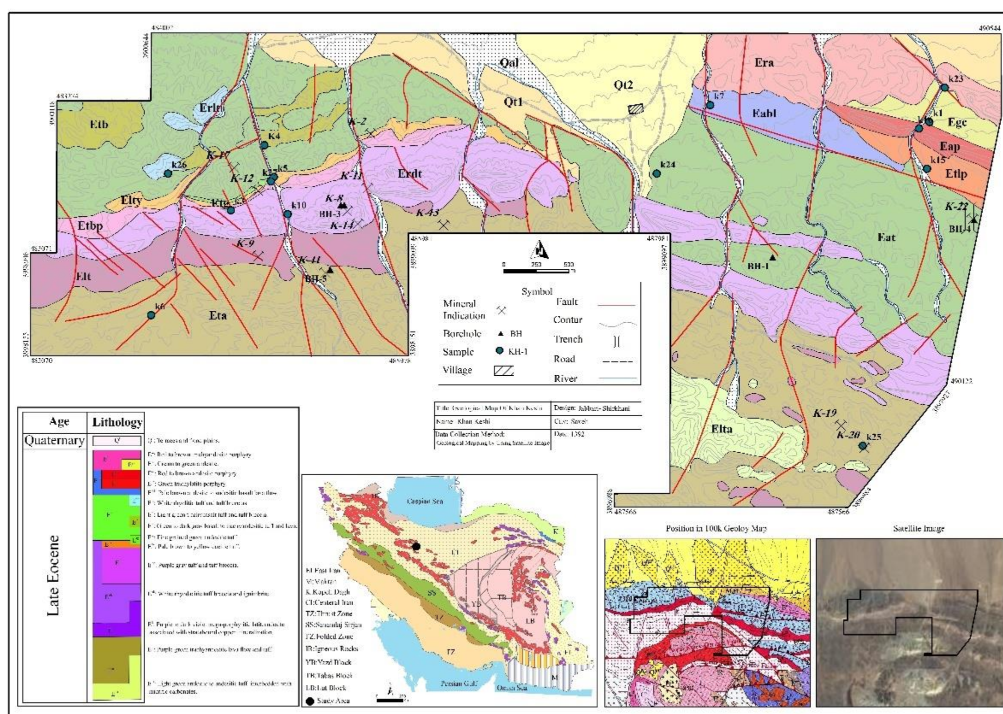
کمربند ماگمایی ارومیه دختر مهم‌ترین و غنی‌ترین منطقه مس‌دار در ایران محسوب می‌شود. ویژگی‌های زمین‌شناسی و پراکندگی گسترده سامانه‌های متنوع مس از جمله ذخایر معدنی مس پورفیری و رگه‌ای به همراه سایر عناصر و نشانه های معدنی، این پهنه را به یک واحد فلززایی بی‌مانند تبدیل کرده است. از نظر اهمیت زیاد، ارزش اقتصادی و مصرف روزافزون فلز راه بردی مس، نیاز به پی‌جویی ذخایر جدید مس از انواع شناخته شده و نیز شناخته نشده این فلز در کشور ضروری به نظر می‌رسد. افزون بر کانسارهای مس پورفیری در

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۰۱۷۴۳۰۷۹۵، پست الکترونیکی: Rez_pourmasoomi@yahoo.com



[ DOI: 10.61186/ijcm.32.4.629 ]

کمان ماگمایی ارومیه دختر، مجموعه دیگری از کانه‌زایی‌های مس در این کمان ماگمایی و سایر پهنه‌های ساختاری ایران شناسایی شده‌اند که در ارتباط با گدازه‌ها و آذرآواری‌ها هستند. این نوع کانسارها به کانسارهای نوع مانتو معروف بوده و از ویژگی‌های شاخص آنها محدود بودن کانه‌زایی به یک واحد چینه‌ای ویژه (چینه کران) است [۱] واژه ذخایر نوع مانتو یا نوع شیلی برای نخستین بار در شیلی و برای ذخایر مس چینه کران با سنگ میزبان آتشفشانی- رسوبی استفاده شده و در ناحیه کردیلرای ساحلی و کردیلرای مرکزی کمربند فلززایی مهمی از مس را ایجاد کرده است [۲]. این نوع ذخایر مس پس از کانسارهای مس پورفیری و کانسارهای اکسید آن-مس-طلا (IOCG)، سومین ذخایر بزرگ مس در شیلی به شمار می‌آیند. بیشتر این ذخایر دارای سن ژوراسیک تا کرتاسه هستند. مهمترین کانسارهای نوع مانتو که در ایران شناخته شده‌اند، کانسارهای مس منطقه عباس آباد در شمال پهنه سبزوار هستند [۳]. از کانسارهای دیگر نوع مانتو که در ایران شناخته شده‌اند می‌توان به کانسارهای ورزگ [۴]. قبله بولاغ [۵]، کشکوییه [۶]، کشت مهکی [۷]، وشنوه [۸] و ناراباغی شرقی [۹] اشاره کرد. کانسار مس خانکشی در ۸۰ کیلومتری جنوب غرب تهران در استان مرکزی واقع است و در شمال کمان ماگمایی ارومیه- دختر رخنمون دارد (شکل ۱). هر چند که معدن مس خانکشی دارای پیشینه کهنی است، اما بررسی‌های چندانی بر آن انجام نشده است. در این پژوهش، بر پایه بررسی‌های دورسنجی سازمان زمین‌شناسی با نام طرح اکتشاف‌های سراسری ذخایر معدنی "طرح کمربند ارومیه- دختر" و همچنین نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ ساوه تهیه شده توسط سازمان زمین‌شناسی کشور [۱۰]، نقشه زمین- شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ زاویه توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور [۱۱]، گزارش پایان عملیات اکتشاف مس یونس آباد (خانکشی) [۱۲] و بررسی کانه‌زایی مس چینه کران نوع مانتو ناراباغی شرقی در توالی آتشفشانی رسوبی ائوسن در شمال شرق ساوه [۹-۱۳] منطقه پی‌جویی شده است. با این پژوهش، الگویی از چگونگی تشکیل کانسار مس خانکشی براساس بررسی‌های کانه‌نگاری، داده‌های زمین‌شیمیایی سنگی و نتایج بررسی میانبارهای سیال ارائه شده است که می‌تواند عوامل فیزیکی- شیمیایی محیط تشکیل کانسار را بازسازی نموده و به شناسایی ویژگی‌ها، خاستگاه و چگونگی تشکیل سیال گرمابی کانه‌زا و سرانجام شکل‌گیری کانسنگ کمک نماید.




**شکل ۱** نقشه زمین شناسی ۱/۵۰۰۰ منطقه خانکشی [۱۴].

**روش بررسی**

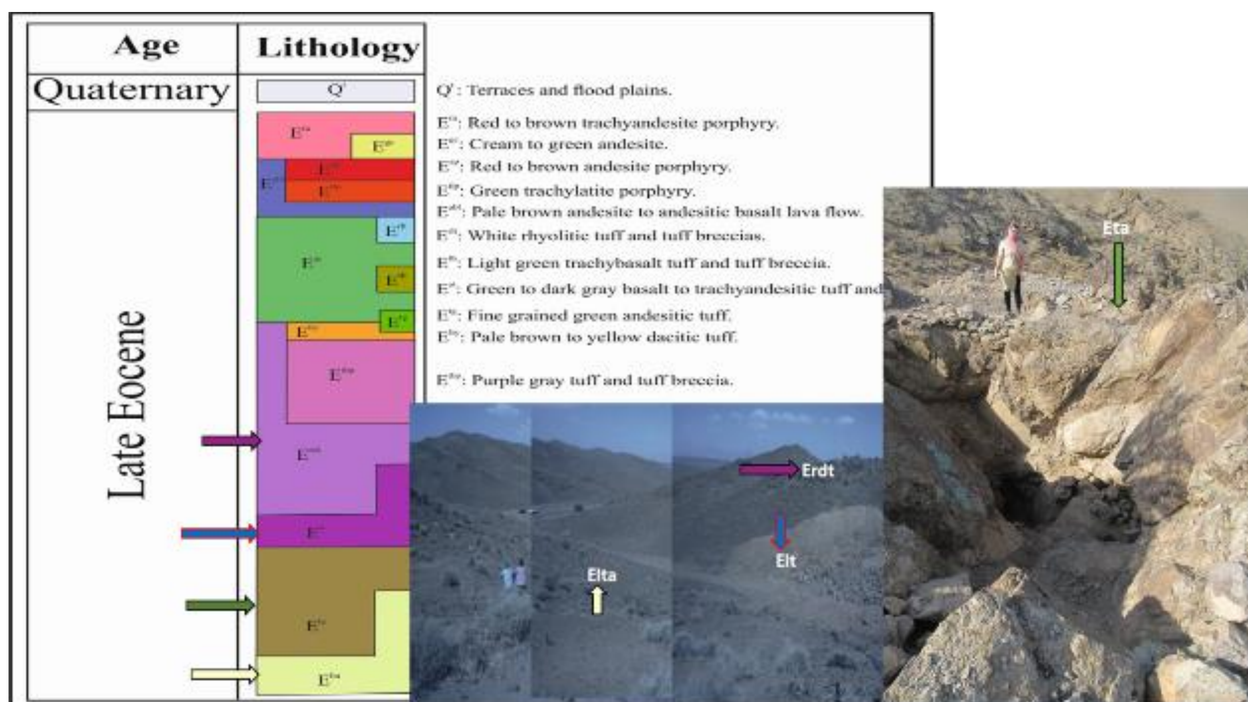
این پژوهش بر پایه بازدیدهای صحرایی، بازنگری نقشه زمین-شناسی در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ زاویه، بررسی نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰ گستره معدنی خانکشی و انجام نمونه‌برداری برای بررسی‌های آزمایشگاهی گوناگون استوار است. نمونه‌های برداشت شده از بخش‌های مختلف شامل رخنمون‌های منطقه معدنی، حفاری‌های سطحی و گمانه‌ها هستند. برای بررسی‌های سنگ‌نگاری، شناسایی مجموعه‌های دگرسانی و روند کانه‌زایی، از سنگ‌های آتشفشانی همراه با کانه‌زایی و بدون کانه‌زایی نمونه‌برداری شد و با روش‌های میکروسکوپی نوری بازتابی و عبوری بررسی شدند. تجزیه عناصر اصلی، فرعی و کمیاب سنگ‌های منطقه مورد بررسی در مرکز آزمایشگاهی زرآزما ایران انجام گردید. نمونه‌های انتخابی شامل ۶ نمونه برای تجزیه اکسیدهای اصلی به روش طیف‌سنجی فئورسانس پرتوی x (XRF)، ۲ نمونه برای پراش پرتوی ایکس (XRD) و ۶۲ نمونه برای تجزیه عناصر کمیاب به روش طیف‌سنجی نشر اتمی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-AES) بود. برای آگاهی از ماهیت و ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی سیال‌های کانه‌ساز، تعداد ۶ مقطع دوبرصیقل از کلسیت به عنوان کانی باطله اصلی کانسار تهیه و برای شناسایی میانبارهای سیال در آزمایشگاه شرکت آذین زمین پویا بررسی شدند. نتایج این بررسی‌ها برای تعیین شرایط فیزیکی- شیمیایی سیال‌های عامل کانه‌سازی و دگرسانی، شامل شوری، فشار، دما و نیز در تعیین مراحل تکامل سامانه گرمابی و کانه‌سازی در ارتباط با آن استفاده شد که پس از سنگ‌نگاری میانبارهای سیال، اندازه‌گیری‌های ریزدماسنجی بر آنها انجام گردید. گستره دمایی اندازه‌گیری دستگاه از ۱۹۶- تا ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد و خطای اندازه‌گیری دستگاه در حد ۰/۱ ± درجه سانتی‌گراد بود. در مجموع، اندازه گیری‌های ریزدماسنجی بر ۶۰ میانبار سیال انجام شد. شوری میانبارهای غنی از مایع و غنی از بخار بر اساس رابطه مرجع [۱۵] و بر پایه دمای ذوب آخرین قطعه یخ ($T_m$ice) محاسبه گردید.

**زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی**

براساس تقسیم‌بندی محیط‌های ساختاری- رسوبی ایران زمین، گستره مس خانکشی در شمال پهنه ارومیه دختر قرار دارد که ادامه شمال غربی این پهنه از گسسته‌ترین و طویل‌ترین مناطق ساختاری ایران زمین است. این کانسار در پهنه ساختاری کوشک نصرت، دربخش شرقی نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی زاویه از توابع استان مرکزی و جنوب شرق ورقه ۱:۲۵۰۰۰۰ ساوه قراردارد. مجموعه سنگ‌های ائوسن پایانی بیشترین برونزد را در منطقه معدنی خانکشی دارند (شکل‌های ۱ و ۲). قدیمی-ترین واحد سنگی واحد $E^{lta}$ در جنوب‌شرقی منطقه معدنی خانکشی است. این واحد با ریختار ملایم و رنگ روشن، شاخص حوضه‌ای با فعالیت خاکسترهای آتشفشانی همزمان با رسوبگذاری و فعالیت بروندم‌ها بوده است. در این راستا، توف-های سبز با لایه‌بندی ظریف همزمان با کربنات‌های ریزبلوری نوع میکرایتی، در این حوضه شکل گرفته‌اند. از سویی، حضور آهک‌های میکرایتی همراه با پیریت‌های فرامبوئیدی در این واحد، توجیه کننده محیط احیایی در رخداد کانه‌زایی سولفیدی و بیانگر فعالیت بروندم‌ها به مانند ژل سولفیدی است که می‌تواند منبع تغذیه کننده گوگرد در کانه‌زایی سولفیدی نوع مانتو این منطقه باشد. دگرسانی‌های کلریتی و اپیدوتی شدن در برخی نقاط این واحد وجود دارند. واحد $E^{ta}$ شامل جریان‌های گدازه تراکی آندزیت به رنگ سبز صورتی همراه با آذرآواری‌های وابسته از نوع برش‌های آتشفشانی و توف برشی است. واحد $E^{lt}$ با ترکیب لاتیت آندزیت از دیدگاه کانه‌زایی مس شاخص بوده (شکل ۳ الف) و شامل همبرزایی کانیایی کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت، کوولیت و مالاکیت و همراه با رگچه‌های دولومیتی- دولواسپارایتی است. در واقع، این واحد به همراه آذرآواری‌های توف و توف برشی وابسته (واحد $E^{lta}$)، نماینده یک چرخه آتشفشانی است که به صورت چینه کران در آن کانه‌زایی مس رخ داده است (شکل ۳ ب). از ویژگی‌های آن وجود دگرسانی‌های کلریتی و اپیدوتی است که در تماس با پهنه کانه‌زایی هستند. واحد $E^{rdt}$ شامل توف اسیدی ریوداسیتی با بافت ایگنمبریتی بوده که گستره آن بیشتر در بخش میانی نقشه زمین‌شناسی ۱/۵۰۰۰ خانکشی و اغلب به حالت صخره ساز است و به صورت همشیب با واحدهای زیرین و بالای خود برونزد دارد. قطع‌شدگی این واحد توسط گسله‌های عرضی باعث تغییر روند آن از شمال شرق- جنوب غرب به سمت شمال غرب- جنوب شرق در بخش شرقی نقشه شده است. واحد $E^{tbp}$ شامل لاپیلی توف، آگلومرا و توفیت با ترکیب لاتیت آندزیت همراه با لایه‌های آهکی نومولیت‌دار بیشتر گستره شمال غربی نقشه ۱/۵۰۰۰ خانکشی را شامل شده است. واحد $E^{lty}$ با ترکیب توف سنگی داسیتی در بخش شمال غرب نقشه و به


[ DOI: 10.61186/ijcm.32.4.629 ]

طور هم‌شیب بر واحد $E^{rtd}$ قرار داشته و به طور جانبی با واحد $E^{tbp}$ ترادف چینه‌ای دارد. از ویژگی‌های واحد $E^{lty}$، رخداد دگرسانی گرمابی شدید است. واحد $E^{tg}$ شامل توف ریزدانه سبز رنگ است. واحد $E^{at}$ با ترکیب بازالت تا تراکی آندزیت همراه با آذرآواری‌های وابسته بیشترین گستره شمال نقشه ۱/۵۰۰۰ خانکشی را فراگرفته و توسط گسله‌های عرضی بصورت قائم و عمود جابه‌جا شده است. مهمترین فعالیت معدنی قدیمی در معدن خانکشی در راستای گسله‌ای قائم و در واحد $E^{at}$ صورت گرفته است. واحد توف ریولیتی ($E^{rlt}$) به صورت بین‌لایه‌ای درون واحد لاتیت آندزیت ($E^{at}$) برونزد دارد. سایر واحدهای زمین‌شناسی واحد توف آندزیتی ($E^{abl}$)، واحد $E^{tlp}$ از نوع لاتیت تا تراکی آندزیت سبز رنگ، واحد $E^{ap}$ از نوع آندزیت پورفیری، واحد $E^{gc}$ از نوع آندزیت و واحد تراکی- آندزیت پورفیری (Era) هستند. همه واحدهای نامبرده نشان دهنده ترادف چینه‌ای جانبی هستند و بطور ناهمگون با پادگانه‌های آبرفتی عهد حاضر ($Q^t$) و با شیب کم فرا گرفته شده‌اند.




**شکل ۲** ستون چینه شناسی منطقه معدنی خانکشی.




**شکل ۳** الف) نمونه سنگی از واحد Elt با ترکیب لاتیت آندزیت به عنوان پهنه کانه‌زا؛ ب) نفوذ سیال گرمابی کانه‌ساز به صورت شبه آتشفشانی (واحد Elt) با رنگ روشن‌تر به درون توده قدیمی آتشفشانی با رنگ تیره تر (واحد Elta).

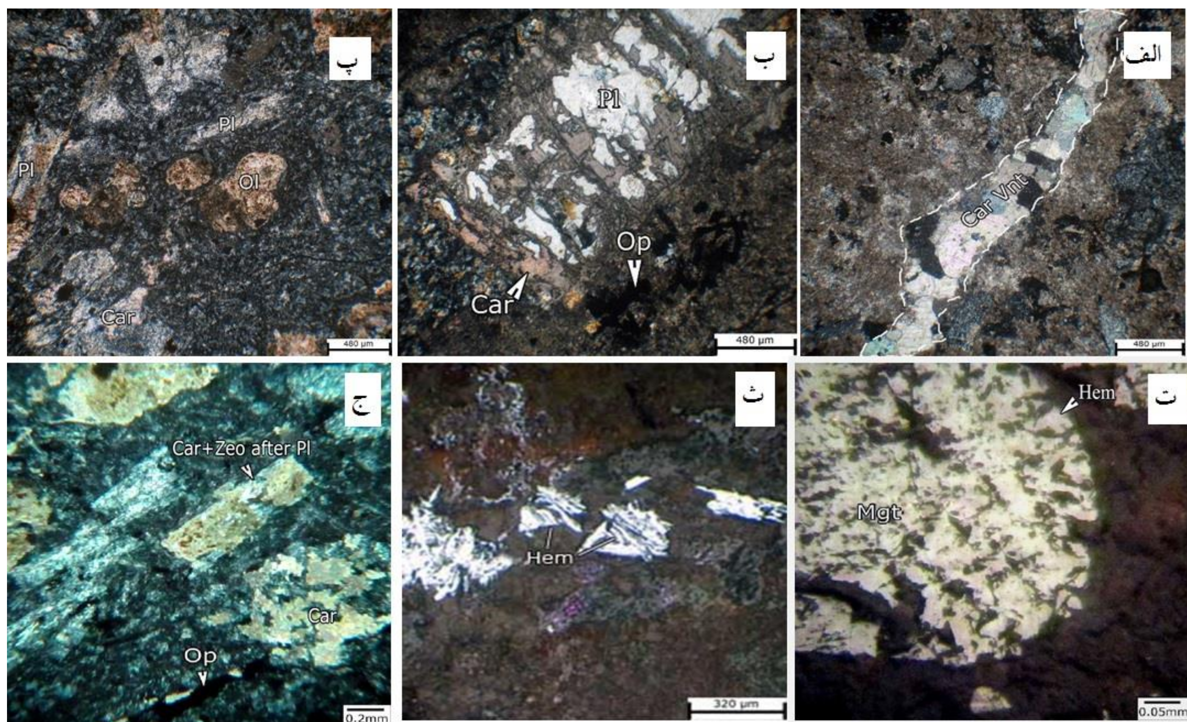

[ DOI: 10.61186/ijcm.32.4.629 ]

**دگرسانی‌ها**

بر پایه بررسی‌های صحرایی، سنگ‌های آتشفشانی دارای دگرسانی با گسترش محلی هستند. دگرسانی پروپیلتی در کنار سایرجوار دیگر دگرسانی‌ها، دگرسانی معمول خانکشی بوده که شدت آن در کانه‌زایی سنگ میزبان بیشتر است. با توجه به حضورکانی‌های همیافت دگرسانی پروپیلتی، و اینکه باطله اصلی همراه با رگه‌های سولفیدی در منطقه مورد بررسی از نوع کربنات بوده، شدت این دگرسانی در واحد سنگی لاتیت آندزیت به عنوان سنگ میزبان بالاست. سایر دگرسانی‌های در ارتباط با کانه‌زایی با مقدار کمتر شامل آرژیلیک (کائولینیتی شدن)، اکسایش آهن و کمتر سرسیتی شدن (فیلیک)، است. (شکل‌های ۴ و ۵). نقشه کلی دگرسانی‌ها بر اساس نمونه‌برداری و بازدیدهای صحرایی که با دگرسانی‌های پروپیلیتی و آرژیلیک و فیلیک (سریسیت) همخوانی دارد در شکل ۶ آورده شده است.

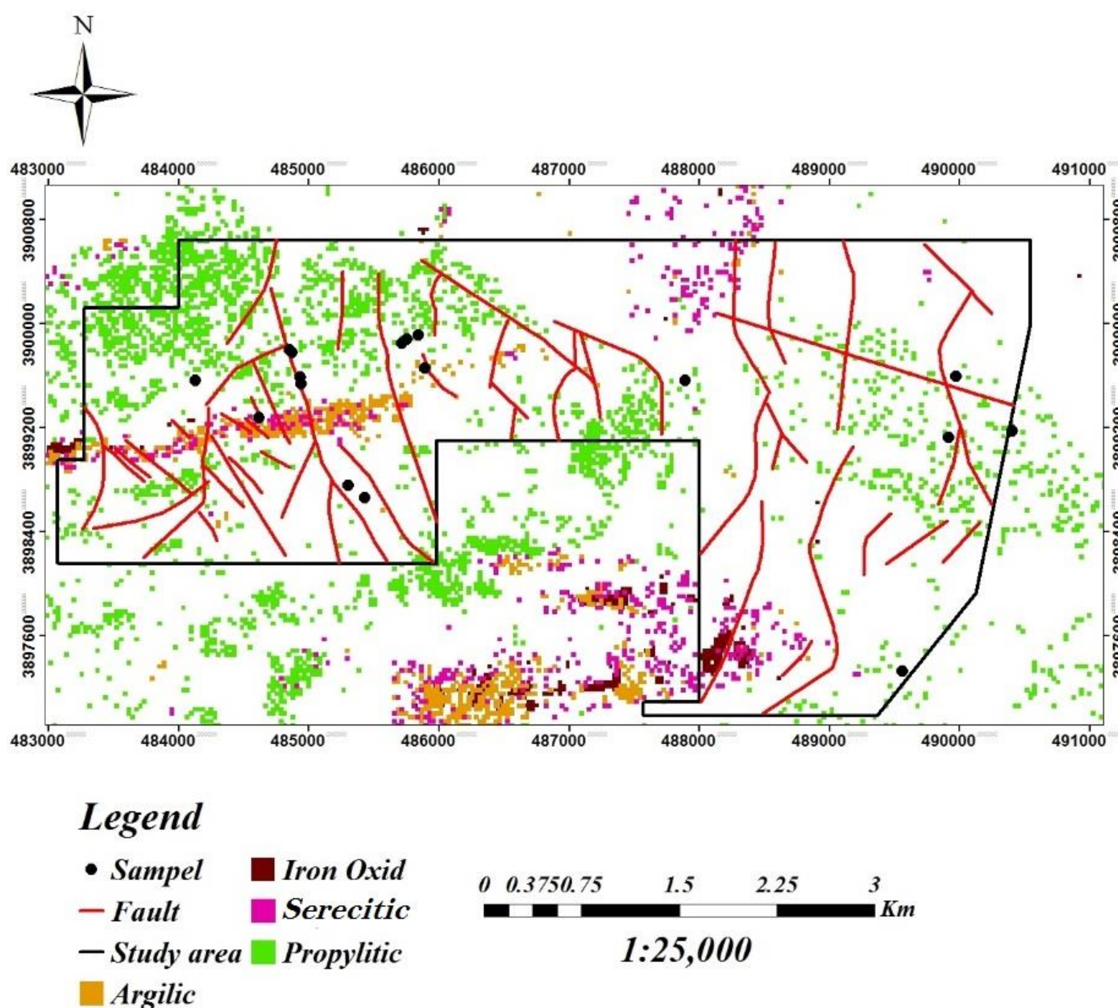



**شکل ۴** دگرسانی‌های موجود در منطقه خانکشی را نشان می‌دهد.




**شکل ۵** الف) نمایی از یک رگه کلسیت (Car Vnt) که سطح مقطع آهک میکرایتی را قطع کرده است؛ ب) نمایی از واپاشی درشت بلور پلاژیوکلاز (Pl) و جانشینی آن با کربنات (Car)؛ پ) نمایی از بافت پورفیری که در آن درشت بلورهای مافیک اولیوین (Ol) با کربنات جانشین شده‌اند؛ ت) یک بلور مگنتیت (Ma) که هماتیتی/مارتیتی (Hem) شده است؛ ث) بلورهای سوزنی تا تیغه‌ای هماتیت (Hem) که در سطح مقطع پراکندگی دارند؛ ج) نمای کلی از نمونه نشانگر بلورهای درشت بلور پلاژیوکلاز با دگرسانی کربناتی و زئولیتی (Car+ Zeo) در یک خمیره ریزسنگی-شیشه-ای.


[ DOI: 10.61186/ijcm.32.4.629 ]

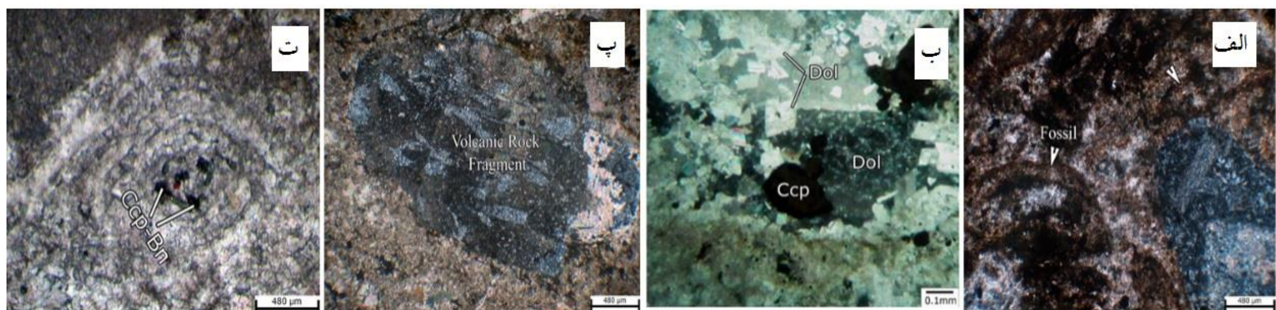



**شکل ۶** نقشه کلی دگرسانی‌ها که براساس کنترل صحرایی نقاط نمونه‌برداری بر دگرسانی‌های پروپیلیتی؛ و آرژیلیک و فیلیک (سریسیت) منطبق است.

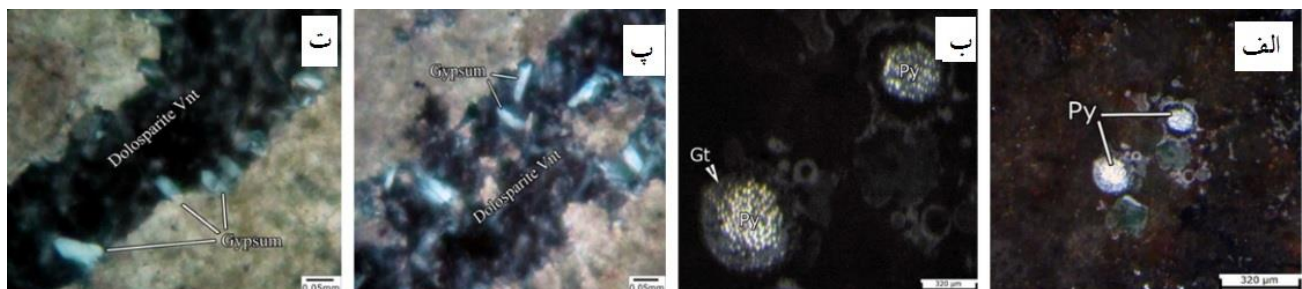
**بررسی‌های مینرالوگرافی و تعیین نوع کانه زایی**

بررسی‌های انجام شده در کانسار مس خانکشی نشان می‌دهد که واحد $E^{lt}$ به عنوان سنگ میزبان کانه‌زایی در این کانسار از نوع لاتیت آندزیت با بافت پورفیری بزرگ است و از دیدگاه کانه‌زایی مس شاخص بوده و وضعیت چینه‌کران در آن به خوبی قابل تشخیص است. واحد $E^{lta}$ به صورت توف‌های آندزیتی سبز رنگ و همراه با کربنات‌های ریزبلورین نوع میکرایتی و در بخش زیرین واحد $E^{lt}$ قرار دارد؛ این نشان می‌دهد که درون این واحد سنگی، کربنات میکرایتی از گروه وکستون‌های تبلوریافته فسیل دار و دولومیتی شده به همراه مقادیر کمتری از خرده‌های سنگی آتشفشانی حضور دارند و به دلیل وضعیت احیایی خود (وجود آهک‌های میکرایتی همراه با پیریت‌های فرامبوئیدی می‌تواند منبع تغذیه کننده گوگرد در کانه‌زایی سولفیدی نوع مانتو این منطقه باشد. در برخی از نقاط، واحد سنگی $E^{lta}$ با بخش‌هایی از آهک میکرایتی فسیل‌دار آمیخته شده و سرانجام سنگی را بوجود آورده است که در گروه سنگ‌های پپریت رده بندی می شود. وجود چنین سنگ‌هایی ارتباط بین محیط تشکیل سنگ میزبان کربناتی با فعالیت‌های آتشفشانی در یک توالی آتشفشانی- رسوبی را نشان می‌دهد (شکل ۷ الف). الگوی پیشنهادی برای شکل‌گیری کانسار خانکشی را می‌توان در دو مرحله برای رخداد کانه‌زایی در نظر گرفت. مرحله نخست شامل درونزایی اولیه بوده در آن فعالیت‌های ماگمایی با تشکیل مگنتیت به صورت ماگمایی دانه چیره که همزمان با تشکیل سنگ میزبان رسوبی است، خود را نشان می‌دهد. کربنات میکرایتی و میکرودایت فسیل‌دار در یک محیط کم انرژی تشکیل شده که در هنگام رسوب‌گذاری،

سنگ‌شدگی و درونزایی فعالیت‌های زیر دریایی آتشفشانی رخ داده و با تغییر PH، باعث تشکیل پیریت فرامبوئیدی به صورت همزاد شده است (شکل‌های ۸ الف و ب). تشکیل انبوهه‌های پیریت از آنجا که به کانه‌زایی تقدم دارد و از سویی، همزاد است، می‌تواند عاملی بر تغذیه گوگرد به صورت کمپلکس بی-سولفیدی و آهن به صورت کمپلکس کلریدی برای کانی‌سازی-های بعدی به شکل ذخایر نوع مانتو و چینه کران باشد. گوگرد مورد نیاز برای تولید پیریت فرامبوئیدی می‌تواند از سولفات موجود در آب دریا باشد که حضور دولومیت و سنگ گچ شاهدی بر این امر است. حضور بلورهای سنگ گچ درون رگچه‌های دولواسپارایت کانه‌دار نقش سولفات آب دریا در تأمین گوگرد در مراحل کانه‌زایی سولفیدی را نشان می‌دهد که طی فرایند احیای باکتریایی در مرحله درونزایی اولیه گوگرد لازم برای تولید پیریت‌های اولیه را فراهم می‌کند [۱۶]، (شکل-های ۸ پ و ت). سیال‌های کانه‌ساز می‌توانند برآمده از سیال-های درونزاد یا درون حوضه‌ای ناشی از آب دریا بوده باشند، زیرا این سیال‌ها دربردارنده منیزیم بسیار بوده و در مراحل بعدی فعالیت‌های گرمابی، میکرایت‌ها به رگه و رگچه‌های دولواسپارایتی تبدیل شده‌اند که نتیجه فرایندهای ثانویه درونزاد بوده است. مرحله دوم مرحله تدفین است. در محیط-های کششی به‌دلیل فعالیت آتشفشانی گسترده، توالی ضخیمی از واحدهای آتشفشانی- رسوبی تشکیل می‌شود که این توالی گرمای زیادی را در خود حفظ می‌کند [۱۷]. در منطقه خانکشی، فرآیند آتشفشانی سبب تدفین سریع واحدهای سنگی موجود شده است. وجود زئولیت در واحد سنگی نشانگر پیشرفت تدفین واحدهای سنگی تا مرحله درونزایی تدفینی است( شکل ۵ ث). دفن‌شدگی واحدهای آتشفشانی منطقه و افزایش فشار و همچنین وجود مخزن ماگمایی یا موتور گرمایی در زیر واحدهای سنگی منطقه سبب تحرک سیال‌های اکسایشی شورابه‌ای [۱۸] در میان توالی آتشفشانی می‌گردد. این سیال‌ها به‌دلیل دمای بالای محیط و چرخش در میان واحدهای سنگی آتشفشانی بازالت و آندزیت‌های زیر دریایی، از مس غنی می‌گردند. سیال‌های اکسایشی غنی از مس به سمت نقاط کم فشار و واحدهای بالایی حرکت می‌کنند.




**شکل ۷** الف) آهک میکرایتی فسیل‌دار که با گدازه‌های آرژیلی آمیخته شده و سنگی به نام پیریت را ایجاد کرده است؛ ب) رگچه دولواسپارایت (Dol) شامل بلورهای درشت دولومیت که بلورهای کالکوپیریت (Ccp) در زمینه آنها تشکیل شده است؛ پ) یک که پلاژیوکلازهای آن به صورت فرم تیغه‌ای منشوری کاملا آرژیلیک شده‌اند؛ ت) سنگواره میکرایتی نومولیتس همراه با رسوب‌های میکرایتی دارای دانه‌های کروی کالکوپیریت و بورنیت که پس از پیریت فرامبوئیدی تشکیل شده است.

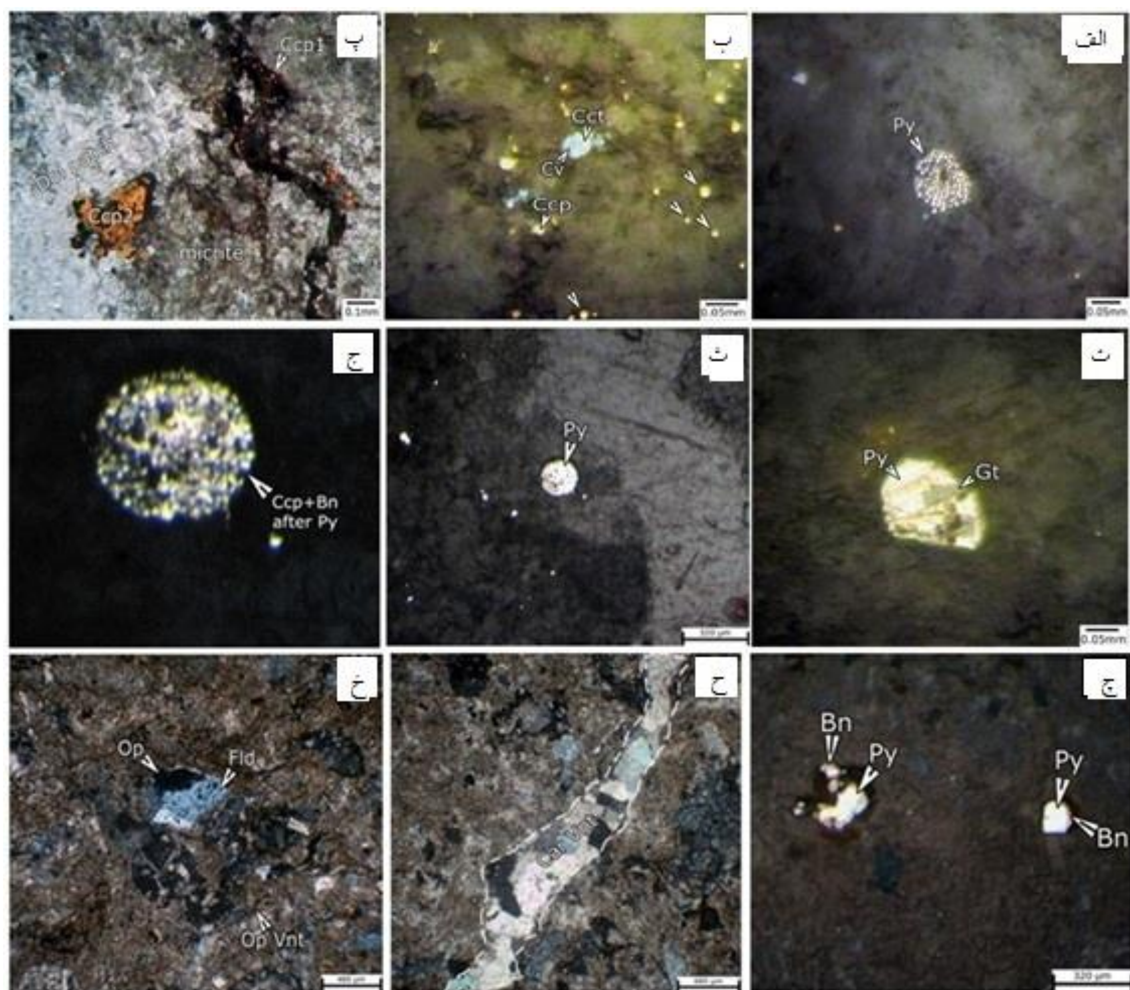



**شکل ۸** الف و ب) انباشت پیریت فرامبوئیدی در رسوب‌های میکرایتی؛ پ و ت) بلورهای سنگ گچ درون رگچه‌های دولواسپارایت کانه‌دار.

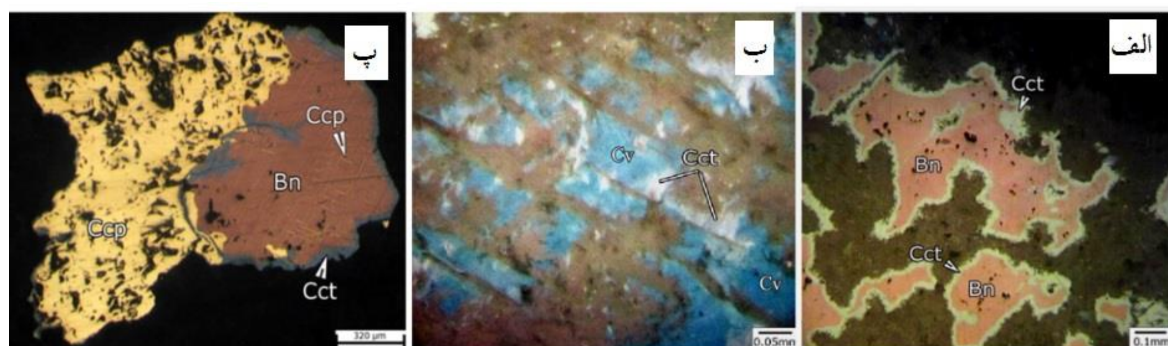

[ DOI: 10.61186/ijcm.32.4.629 ]

با توجه به شوری و دمای سیال‌های کانه‌ساز در کانسار مس خانکشی، مس به شکل عمده توسط کمپلکس‌های کلریدی حمل شده است. ورود سیال‌های غنی از مس به واحد لاتیت آندزیت غنی از پیریت موجب احیای آنها و ته نشست مس به شکل سولفیدی می‌گردد. برخورد سیال‌های اکسایشی با پیریت سبب آزاد شدن آهن و جانشینی مس به جای آن می‌شود که آهن آزاد شده در نزدیک سولفیدهای مس گوتیت را تشکیل می‌دهد. در بخش‌های با شدت بالای فرآیند اکسایش، پیریت‌ها به‌طور کامل با اکسیدهای آهن جانشین می‌شوند. مقدار بالای گوتیت در کنار سولفیدهای مس در واحد آندزیتی میزبان نتیجه این فرآیند است [۱۶، ۱۹-۲۱] همچنین کاهش دمای سیال‌های اکسایشی عامل دیگری برای تخریب کمپلکس‌های کلریدی حمل کننده و ته‌نشست سولفیدهای مس به حساب می‌آید. این کاهش دما می‌تواند در اثر برخورد سیال اکسایشی با آب‌های بین منفذی موجود در واحد لاتیت آندزیت (آب دریای به دام افتاده) رخ دهد [۱۸]. بلورهای کروی کالکوپیریت و بورنیت به صورت مشخص و گسترده جانشین انبوهه‌های پیریت فرامبوئیدی شده‌اند (شکل ۹). در برخی از نقاط، جانشینی کالکوپیریت بجای پیریت به صورت بخشی صورت گرفته است، به طوری که دانه‌های ریز پیریت فرامبوئیدی هنوز در زمینه شکل‌های کروی کالکوپیریت در زمینه سنگ کربناتی اولیه دیده می‌شوند (شکل ۹ ب)؛ افزون بر این، در برخی نقاط، کالکوپیریت و بورنیت به صورت درشت بلورهای نیمه شکل‌دار در زمینه رگه- رگچه‌های دولواسپارایت تشکیل شده‌اند (شکل ۷ ب)؛ از این رو، دو رخداد فاز کانه‌زایی مس برای کالکوپیریت و بورنیت وجود دارد. رگچه‌های دولواسپارایت دربردارنده کانه کالکوپیریت در راستای سطوح شکستگی جایگزین شده‌اند و به این دلیل می‌توان گفت که کانی‌زایی می‌تواند در اثر آب‌های درون رسوب‌ها باشد که با ماگما یا توده ماگمایی بعدی گرم شده‌اند. همچنین درجه شوری متوسط میانبارهای سیال درگیر نشان‌دهنده یک آمیختگی نسبی بین سیال درونزاد (آب دریا) و سیال گرمابی است که می‌تواند توسط یک توده نفوذی به عنوان موتور گرمایی گرم شده و شاهدی در این زمینه باشد. صعود و نفوذ سیال‌های گرمابی بالا رونده در رسوب‌های میکرایتی با حضور رگه و رگچه‌های کلسیتی و دولواسپارایتی به صورت ریز شکاف‌ها نمایان می‌شوند که سنگ میزبان میکرایتی را قطع کرده‌اند و محلول‌های گرمابی کانه‌ساز به طرف بالا صعود کرده و به عنوان سیال کانه‌ساز وارد شکستگی‌ها می‌شوند. نفوذ سیال دربردارنده آهن، مس و گوگرد باعث تولید کالکوپیریت و بورنیت به صورت مستقل و یا به صورت جانشینی در پیریت فرامبوئیدی می‌شود. کالکوپیریت و بورنیت با رگه‌های کلسیتی و دولواسپارایتی کنترل شده و درون آنها به صورت همزیست زایش پیدا کرده‌اند و از این رو دگرزاد یا روزادی هستند. نتیجه رخداد فرآیندهای درونزایی اولیه و تدفینی تشکیل بافت‌های دانه‌پراکنده و پرکننده فضای‌خالی، قطع‌شدگی و جانشینی پیریت با سولفیدهای مس، شکل‌های جانشینی پیریت و تشکیل رگه- رگچه‌های دارای سولفیدهای مس در سنگ لاتیت آندزیت میزبان کانه‌زایی است. وجود آنها از ویژگی‌های کانسارهای چینه کرن روزادی است که باعث ایجاد کانه‌زایی‌های مس به صورت کالکوپیریت و بورنیت به عنوان فاز یک (شکل ۹) و فاز دو روزادی (شکل‌های ۱۰ الف، پ) و کالکوسیت و کوولیت به عنوان فاز دو روزادی می‌شود (شکل‌های ۱۰ الف تا پ). حضور این کانی‌ها در واحد آتشفشانی لاتیت آندزیت با بافت مگاپورفیری نشان می‌دهد که این واحد بهترین شاخص نوع چینه‌کران و کانه‌زایی اپی‌ژنتیک در منطقه بوده و بی ارتباط با یک مجرای دودکش مانند گرمابی نیست. کانسارهای نوع مانتو اواخر سیلورین- اوایل دونین در کمربند کوهزایی آسیای مرکزی با میزبانی توالی آتشفشان- رسوبی، برش‌های آتشفشانی آندزیت و با کانه‌زایی کالکوپیریت، بورنیت و کالکوسیت با بافت دانه پراکنده، رگه- رگچه‌ای، برشی و جانشینی شناخته می‌شوند [۲۲]. فرایند برونزایی باعث تشکیل بافت جانشینی شده که نتیجه آن لبه کوولیت-کالکوسیت پیرامون هر دو کانی کالکوپیریت و بورنیت است. در یک مرحله پیشرفته‌تر، بلورهای کالکوسیت سرانجام با کانی کوولیت جانشین شده‌اند. کانسار مس خانکشی با توجه به نوع ساخت و بافت، نوع سنگ درونگیر، محیط زمین‌ساختی و نوع دگرسانی بیشترین شباهت را با کانسارهای نوع مانتو نشان می‌دهد. در پایان طرحواره‌ای از رخداد درونزایی اولیه تشکیل پیریت و تدفین و تشکیل سولفیدهای فلزی در حوضه کششی پشت قوس منطقه خانکشی در شکل ۱۱ نشان داده شده است.


[ DOI: 10.61186/ijcm.32.4.629 ]

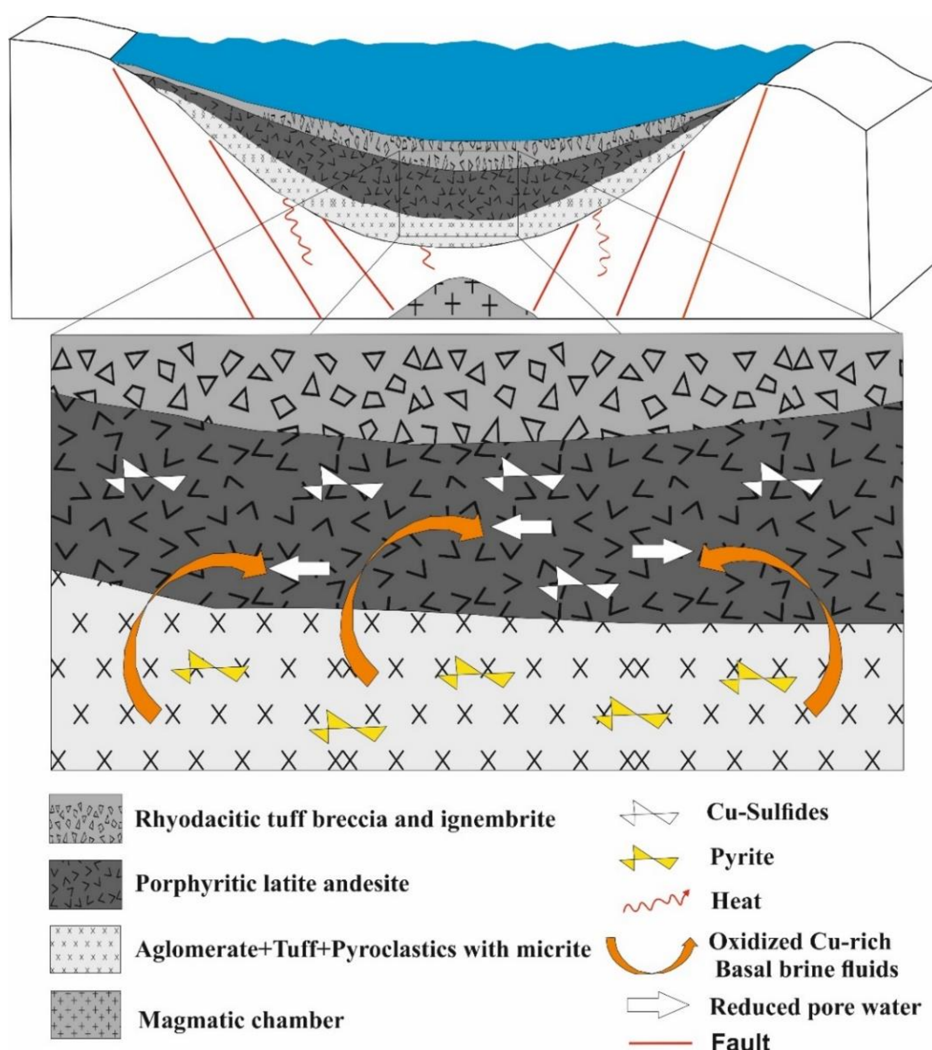


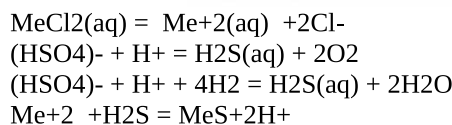

**شکل ۹** الف) انبوهه کروی شکل از بلورهای ریز پیریت فرامبوئیدی در زمینه آهک میکرایتی؛ ب) جانشینی کالکوپیریت با کانی‌های کوولیتو کالکوسیت که خود پیشتر جانشین خوشه‌های کروی شکل پیریت فرامبوئیدی به صورت بخشی شده‌اند؛ پ) بلورهای ریز و کروی شکل کالکوپیریت نسل اول (Ccp1) به صورت یک نوار فلزی دگرشکل در بخش میکرایتی نمونه به رنگ تیره و بلور درشت کالکوپیریت نسل دوم (Ccp2) در زمینه یک پچ درشت‌بلور دولواسپارایتی که درون زمینه میکرایتی اولیه به صورت ثانویه جانشین شده است؛ ت) بلور پیریت که به طور بخشی گوتیتی شده است؛ ث) پیریت فرامبوئیدی که در مرحله بعدی کانی‌سازی توسط کالکوپیریت و بورنیت جانشین شده است (تصویر ج، زوم شده تصویرث می‌باشد)؛ چ) جانشینی پیریت فرامبوئیدی با بورنیت؛ ح) رگه دولواسپارایتی که سطح مقطع آهک میکرایتی را قطع کرده است و به صورت روزادی می‌تواند حامل کانه‌زایی باشد؛ خ)کانی‌های کدر (سولفیدی) در متن میکرایت که به صورت رگچه‌ای مواد میکرایتی را به صورت قطع کرده است.




**شکل ۱۰** الف) بلورهای بورنیت با لبه کالکوسیتی‌شده؛ ب) جانشینی کوولیت با کالکوسیت؛ پ) همزیستی دو بلور کالکوپیریت و بورنیت.


[ DOI: 10.61186/ijcm.32.4.629 ]




**شکل ۱۱** طرحواره‌ای از رخداد مربوط به درونزایی اولیه تشکیل پیریت و تدفین وتشکیل سولفیدهای فلزی در حوضه کششی پشت قوس منطقه خانکشی.

**بحث و بررسی**

**زمین‌شیمی و محیط زمین ساختی**

به منظور رده‌بندی سنگ‌شناسی، از واحدهای سنگی مختلف نمونه‌برداری شد. نمونه‌ها پس از خردایش در مجموعه آزمایشگاهی زرآزما ایران به روش‌های XRD و ICP-AES تجزیه شدند و نتایج زمین‌شیمیایی عناصر اصلی، فرعی و کمیاب تحلیل زمین‌شناسی شدند (جدول ۱ و ۲).

نتایج XRD نمونه KP-7 نشانگر حضور کانی‌های کلسیت، آلبیت، ایلیت و کوارتز در فاز اصلی ارتوکلاز و فاز فرعی مالاکیت است. کلسیت دگرسانی پروپیلیتی را نشان می‌دهد که برآمده از دگرسانی پلاژیوکلاز کلسیم‌دار است. در فازهای ثانویه ارتوکلاز و مالاکیت، کانی‌های کربنات مس هستند. این در حالی است که در نمونه KP-15، کانی‌های آلبیت، کلسیت، کوارتز و کائولینیت در فاز اصلی حضور دارند. در این نمونه نیز مانند نمونه قبل، کلسیت نشانگر دگرسانی پروپیلیتی است که فازثانویه، کانی‌های ارتوکلاز و مونت موریولیت با دگرسانی آرژیلیک و مگنتیت را نشان می‌دهد فعالیت‌های ماگماتی دانه چیره در زمان تشکیل سنگ میزبان رسوبی بوده است. نتایج XRD نشانگر حضور دگرسانی پروپیلیتی و به مقدار کمتر دگرسانی آرژیلیک و اکسایش آهن بوده که این نتایج در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ نشان داده شده است.


[ DOI: 10.61186/ijcm.32.4.629 ]

**جدول ۱** نتایج تجزیه XRD نمونه‌های کانسار مس خانکشی (بر حسب درصد وزنی).

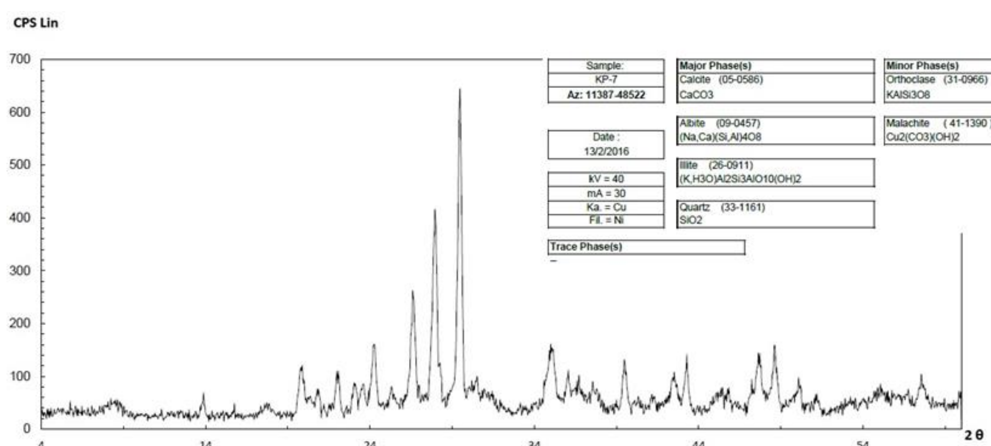
| Sample | SiO2 | Al2O3 | BaO | CaO | Fet | K2O | MgO | MnO | Na2O | P2O5 | SO3 | TiO2 | Cr2O3 | Cu | Pb | Zn | LOI |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| KP-6 | ۴۵٫۲۰ | ۱۷٫۴۰ | ۰٫۰۲ | ۱۰٫۵۵ | ۶٫۵۲ | ۰٫۴۳ | ۳٫۸۸ | ۰٫۱۱ | ۳٫۲۲ | ۰٫۲۱ | ۰٫۰۵ | ۰٫۸۵ | ۰٫۰۱ | ۰٫۰۱ | ۰٫۰۱ | ۰٫۰۱ | ۸٫۸۱ |
| KP-7 | ۴۶٫۰۷ | ۲۰٫۷۴ | ۰٫۰۱ | ۹٫۸۵ | ۱٫۱۸ | ۳٫۵۶ | ۰٫۷۸ | ۰٫۲۹ | ۳٫۰۶ | ۰٫۲۵ | ۰٫۰۶ | ۰٫۹۵ | ۰٫۰۱ | ۰٫۵۵ | ۰٫۰۱ | ۰٫۰۱ | ۱۲٫۱۴ |
| KP-15 | ۴۴٫۹۴ | ۱۳٫۹۷ | ۰٫۰۳ | ۷٫۹۱ | ۳٫۷۶ | ۱٫۳۹ | ۱٫۹۸ | ۰٫۲۱ | ۳٫۴۸ | ۰٫۳۹ | ۰٫۱۵ | ۰٫۶۷ | ۰٫۰۱ | ۷٫۰۴ | ۰٫۰۱ | ۰٫۰۱ | ۱۲٫۶۳ |
| KP-16 | ۵۲٫۸۱ | ۱۷٫۴۸ | ۰٫۰۸ | ۸٫۳۵ | ۴٫۹۴ | ۲٫۷۸ | ۲٫۵۸ | ۰٫۱۲ | ۲٫۸۲ | ۰٫۳۹ | ۰٫۰۵ | ۰٫۷۲ | ۰٫۰۱ | ۰٫۰۱ | ۰٫۰۱ | ۰٫۰۱ | ۴٫۷۳ |
| KP-17 | ۵۰٫۹۷ | ۱۷٫۴۸ | ۰٫۰۸ | ۹٫۸۲ | ۴٫۶۰ | ۲٫۲۲ | ۱٫۶۵ | ۰٫۱۳ | ۲٫۷۶ | ۰٫۳۳ | ۰٫۱۷ | ۰٫۸۲ | ۰٫۰۱ | ۰٫۹۵ | ۰٫۰۱ | ۰٫۰۱ | ۵٫۹۹ |
| KP-18 | ۴۹٫۲۶ | ۱۷٫۱۱ | ۰٫۰۸ | ۹٫۱۵ | ۵٫۵۱ | ۱٫۹۱ | ۳٫۳۰ | ۰٫۱۴ | ۲٫۱۸ | ۰٫۳۰ | ۰٫۰۵ | ۰٫۸۰ | ۰٫۰۱ | ۰٫۰۶ | ۰٫۰۱ | ۰٫۰۱ | ۷٫۸۰ |

**جدول ۲** بخشی از نتایج تجزیه ICP-AES نمونه‌های کانسار مس خانکشی (بر حسب ppm).

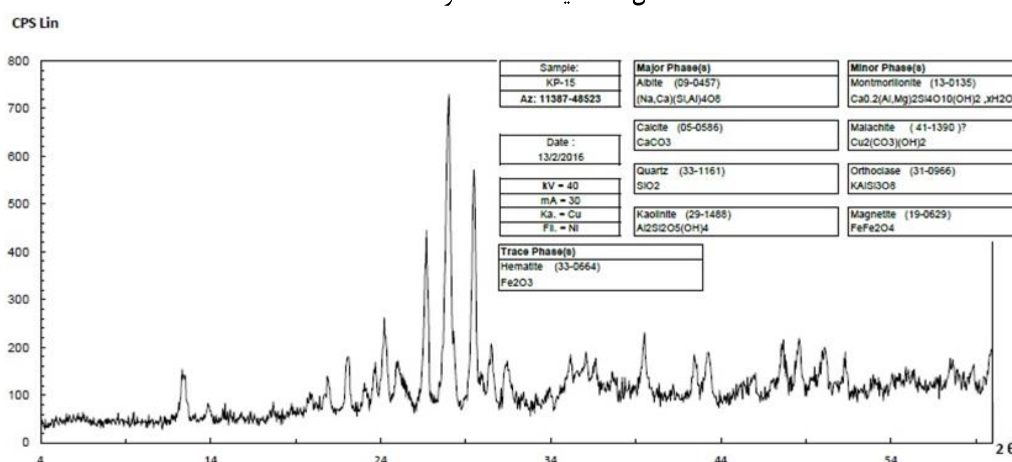
| Element | Ag | Al | As | Ca | Cd | Ce | Co | Cr | Cu | Fe | La | Li | Mg | Mn | Mo | Ni | P | Pb | S | Sb | Sc | Th | V | Y | Yb | Zn | Au |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| BH6-1 | ۰٫۲۵ | ۹۴۷۳۹ | ۷.۷ | ۷۲۲۴۴ | ۰٫۲۳ | ۳۲ | ۲۳ | ۱۳ | ۱۲۰ | ۴۵۷۶۹ | ۲۴ | ۱۶ | ۱۵۲۹۶ | ۹۳۵ | ۰٫۷۶ | ۱۶ | ۱۶۳۴ | ۲۲ | ۶۸ | ۱٫۱۱ | ۳۲٫۳ | ۷٫۴ | ۲۵۶ | ۳۲ | ۱٫۹ | ۱۵۲ | . |
| BH6-10 | ۰٫۳۴ | ۵۹۸۸۵ | ۲.۶ | ۶۶۰۳۰ | ۰٫۲ | 39 | ۱۹ | ۴ | ۹۴۶ | ۳۳۵۱۸ | ۲۹ | ۲۰ | ۷۳۵۴ | ۱۱۰۲ | ۰٫۵۹ | ۷ | ۲۲۴۱ | ۶ | ۹۱ | ۱٫۰۴ | ۱۵٫۷ | ۵٫۳ | ۹۴ | ۲۸ | ۱٫۱ | ۳۸ | ۳٫۷۵ |
| BH6-11 | ۰٫۲۶ | ۸۷۴۶۰ | ۲.۷ | ۶۴۴۷۷ | ۰٫۱۹ | 40 | ۱۹ | ۱۴ | ۱۵۳ | ۴۵۵۴۹ | ۳۱ | ۲۳ | ۱۱۸۴۲ | ۱۰۷۸ | ۰٫۷۴ | ۱۰ | ۲۰۳۵ | ۸ | ۱۲۱ | ۱٫۰۳ | ۲۰٫۴ | ۷٫۲ | ۱۷۱ | ۳۵ | ۱٫۸ | ۷۵ | ۳٫۷۵ |
| BH6-12 | ۰٫۲۸ | ۶۶۳۴۱ | ۲.۵ | ۷۱۲۸۹ | ۰٫۱۹ | 40 | ۱۷ | ۴ | ۴۷۶ | ۳۴۸۵۲ | ۳۱ | ۲۰ | ۱۰۲۷۰ | ۸۸۵ | ۰٫۶۹ | ۹ | ۲۲۲۸ | ۶ | ۷۰ | ۰٫۹۸ | ۱۲٫۵ | ۵٫۵ | ۱۰۱ | ۲۹ | ۱٫۲ | ۳۹ | ۳٫۷۵ |
| BH6-13 | ۰٫۹ | ۵۸۷۱۵ | ۲.۵ | ۱۱۷۰۸۸ | ۰٫۱۹ | ۳۹ | ۱۴ | ۳ | ۳۹۰ | ۳۲۶۶۶ | ۳۰ | ۱۶ | ۱۰۵۹۲ | ۱۹۹۵ | ۰٫۷۴ | ۸ | ۱۸۲۶ | ۶ | ۱۴۷ | ۱٫۱۲ | ۱۳٫۱ | ۶٫۹ | ۱۰۰ | ۳۵ | ۱٫۶ | ۳۹ | ۵ |
| BH6-14 | ۰٫۲۶ | ۷۶۱۷۰ | ۳.۴ | ۸۶۳۱۶ | ۰٫۲ | ۲۵ | ۲۶ | ۱۶ | ۱۶۶ | ۴۹۸۷۶ | ۲۰ | ۲۶ | ۱۲۶۲۸ | ۱۱۶۰ | ۰٫۵۸ | ۱۳ | ۱۴۸۵ | ۱۸ | ۱۰۱ | ۱٫۱۶ | ۳۵ | ۴٫۳ | ۲۱۲ | ۳۱ | ۱٫۷ | ۱۵۱ | ۳٫۷۵ |
| BH6-15 | ۰٫۲۳ | ۱۰۲۹۸۵ | ۲.۳ | ۱۰۱۸۶۱ | ۰٫۲۱ | ۱۸ | ۲۲ | ۲۲ | ۴۰ | ۴۷۶۵۴ | ۱۴ | ۳۰ | ۱۵۸۴۰ | ۱۰۱۲ | ۰٫۳۸ | ۱۳ | ۱۱۴۶ | ۸ | ۷۴ | ۱٫۱۹ | ۳۷٫۶ | ۴٫۴ | ۲۶۰ | ۲۶ | ۱٫۷ | ۱۰۸ | ۳٫۷۵ |
| BH6-16 | ۰٫۲۶ | ۹۴۸۸۰ | ۲.۶ | ۶۰۱۹۴ | ۰٫۲ | ۲۰ | ۳۴ | ۲۹ | ۱۲۸ | ۵۸۷۸۸ | ۱۵ | ۳۷ | ۱۹۸۴۸ | ۹۰۷ | ۰٫۵۲ | ۲۱ | ۱۱۶۶ | ۹ | ۹۴ | ۱٫۲۵ | ۳۱٫۴ | ۴٫۳ | ۲۴۹ | ۲۵ | ۱٫۵ | ۳۴۵ | ۳٫۷۵ |
| BH6-17 | ۰٫۳۳ | ۸۳۱۴۷ | ۲.۶ | ۱۱۲۲۷ | ۰٫۲ | ۱۹ | ۲۲ | ۲۵ | ۱۱۱ | ۴۴۱۴۳ | ۱۵ | ۲۸ | ۱۱۳۶۶ | ۱۹۵۶ | ۰٫۶۱ | ۱۹ | ۱۱۳۶ | ۸ | ۱۸۲ | ۱٫۰۸ | ۳۱٫۱ | ۴٫۲ | ۲۰۳ | ۲۳ | ۱٫۳ | ۱۶۵ | ۳٫۷۵ |
| BH6-18 | ۰٫۳۳ | ۹۹۷۹۷ | ۲.۵ | ۷۰۱۸۹ | ۰٫۲ | ۲۰ | ۳۱ | ۲۶ | ۱۰۲ | ۵۶۰۹۲ | ۱۶ | ۲۹ | ۱۹۶۲۴ | ۸۳۲ | ۰٫۳۸ | ۲۱ | ۱۱۷۰ | ۸ | ۹۲ | ۱٫۱۷ | ۳۰٫۴ | ۴ | ۲۳۶ | ۲۵ | ۱٫۵ | ۱۴۶ | ۳٫۷۵ |
| BH6-19 | ۰٫۳۲ | ۱۱۵۷۸۳ | ۲.۴ | ۵۱۲۵۹ | ۰٫۲ | ۱۸ | ۳۳ | ۲۲ | ۱۶۰ | ۶۷۱۵۱ | ۱۴ | ۳۶ | ۲۲۲۹۰ | ۹۱۳ | ۰٫۳۸ | ۱۵ | ۱۳۲۲ | ۹ | ۹۹ | ۱٫۱۷ | ۲۷٫۹ | ۳٫۷ | ۲۲۰ | ۲۳ | ۱٫۴ | ۱۸۶ | ۳٫۷۵ |
| BH6-2 | ۰٫۳ | ۴۴۶۰۵ | ۲۳.۶ | ۶۹۲۳۶ | ۰٫۲۳ | ۱۸ | ۱۳ | ۱۳ | ۱۳ | ۴۳۱۴۳ | ۱۳ | ۳ | ۳۸۸۲ | ۱۶۸۴ | ۰٫۶۹ | ۹ | ۱۴۵۲ | ۲۰ | ۱۰۷ | ۱٫۲ | ۲۱٫۸ | ۸٫۵ | ۱۱۱ | ۱۵ | ۰٫۸ | ۳۸ | ۳٫۷۵ |
| BH6-20 | ۰٫۲ | ۸۵۳۴۰ | ۴.۸ | ۷۷۴۷۴ | ۰٫۱۹ | ۲۳ | ۳۱ | ۲۰ | ۶۷ | ۵۵۰۲۱ | ۱۸ | ۲۸ | ۱۸۱۰۳ | ۱۰۳۱ | ۰٫۳۸ | ۱۵ | ۱۴۴۳ | ۸ | ۸۰ | ۱٫۲۵ | ۲۸٫۴ | ۴٫۴ | ۱۹۶ | ۲۹ | ۱٫۷ | ۱۰۶ | ۳٫۷۵ |
| BH6-21 | ۰٫۳۱ | ۷۴۸۸۲ | ۲.۶ | ۴۸۵۹۷ | ۰٫۱۹ | ۳۶ | ۱۶ | ۵ | ۳۱۶ | ۴۴۴۰۳ | ۲۸ | ۲۴ | ۱۲۰۷۸ | ۶۲۴ | ۰٫۷۱ | ۶ | ۲۰۴۹ | ۷ | ۲۰۰ | ۱٫۱۱ | ۱۲٫۷ | ۵٫۶ | ۱۷۰ | ۲۹ | ۱٫۴ | ۵۸ | ۳٫۷۵ |
| BH6-22 | ۱ | ۶۶۱۴۵ | ۴.۱ | ۶۹۹۵۸ | ۰٫۱۸ | ۳۳ | ۲۳ | ۵ | ۲۵۷۴ | ۵۸۰۵۹ | ۲۵ | ۳۰ | ۱۴۸۵۸ | ۱۰۱۵ | ۰٫۷۹ | ۱۱ | ۱۸۶۸ | ۹ | ۷۹۷ | ۱٫۱۵ | ۱۵٫۵ | ۵٫۴ | ۱۸۶ | ۲۹ | ۱٫۵ | ۹۱ | ۷ |
| BH6-23 | ۰٫۴۴ | ۷۰۱۹۸ | ۲.۳ | ۷۹۶۷۵ | ۰٫۲ | ۲۶ | ۳۱ | ۱۴ | ۱۰۴۵ | ۵۶۳۴۷ | ۲۰ | ۲۳ | ۱۶۶۹۶ | ۱۰۲۱ | ۰٫۳۸ | ۱۱ | ۱۶۶۵ | ۹ | ۱۰۶ | ۱٫۳۲ | ۳۳٫۸ | ۴٫۲ | ۳۱۱ | ۳۱ | ۲٫۷ | ۲۰۵ | ۳.۷۵ |
| BH6-24 | ۰٫۲۷ | ۸۸۷۶۷ | ۲.۳ | ۵۳۲۲۰ | ۰٫۲ | ۲۲ | ۳۶ | ۱۳ | ۱۵۹ | ۶۶۲۳۶ | ۱۷ | ۳۳ | ۲۰۵۱۸ | ۱۰۶۹ | ۰٫۳۸ | ۱۲ | ۱۶۵۳ | ۱۰ | ۹۴ | ۱٫۲۶ | ۳۵٫۵ | ۳٫۹ | ۳۲۹ | ۲۷ | ۱٫۶ | ۲۲۷ | ۳.۷۵ |
| BH6-25 | ۰٫۸ | ۹۸۶۴۰ | ۳.۸ | ۴۸۴۹۴ | ۰٫۱۹ | ۳۱ | ۳۳ | ۱۳ | ۱۱۵۴۲ | ۵۲۱۱۷ | ۲۴ | ۴۲ | ۱۸۳۹۹ | ۵۸۶ | ۱٫۲۳ | ۱۹ | ۱۶۳۴ | ۱۰ | ۱۳۳ | ۱٫۱۱ | ۲۳٫۸ | ۶٫۴ | ۲۴۳ | ۲۸ | ۱٫۶ | ۱۶۱ | ۵ |
| BH6-26 | ۰٫۳۱ | ۹۷۵۷۷ | ۹.۹ | ۵۰۱۹۴ | ۰٫۲۲ | ۳۱ | ۲۱ | ۱۲ | ۵۵۲ | ۵۲۸۸۸ | ۲۴ | ۱۳ | ۱۵۰۶۹ | ۶۸۰ | ۰٫۹ | ۱۴ | ۱۶۱۹ | ۲۹ | ۹۹۶ | ۰٫۹۸ | ۲۱٫۶ | ۷٫۸ | ۲۴۶ | ۲۹ | ۱٫۷ | ۱۰۹ | ۳٫۷۵ |
| BH6-27 | ۰٫۲۱ | ۹۰۷۰۴ | ۲.۸ | ۵۹۸۵۲ | ۰٫۱۸ | ۳۹ | ۱۸ | ۶ | ۳۶ | ۴۳۳۵۴ | ۲۹ | ۶ | ۱۱۰۶۵ | ۶۹۱ | ۰٫۹۱ | ۹ | ۲۰۱۵ | ۷ | ۷۹ | ۱٫۰۴ | ۲۰٫۱ | ۷٫۸ | ۱۸۳ | ۳۵ | ۱٫۹ | ۶۶ | ۳٫۷۵ |
| BH6-28 | ۱٫۱ | ۵۲۶۰۳ | ۲.۶ | ۷۵۸۷۷ | ۰٫۲۲ | ۴۰ | ۱۸ | ۴ | ۱۸۲۴ | ۴۱۶۱۰ | ۳۱ | ۲۱ | ۸۷۹۳ | ۱۰۴۸ | ۰٫۷۷ | ۸ | ۲۰۵۷ | ۷ | ۱۶۳ | ۱٫۱۲ | ۱۴٫۶ | ۵٫۹ | ۱۰۲ | ۳۱ | ۱٫۳ | ۵۴ | ۵ |
| BH6-29 | ۰٫۱۹ | ۷۷۹۶۰ | ۲.۴ | ۴۷۶۷۶ | ۰٫۱۹ | ۳۸ | ۲۰ | ۶ | ۸۶ | ۴۶۰۹۲ | ۲۸ | ۶ | ۱۳۳۹۵ | ۷۱۵ | ۰٫۷۸ | ۹ | ۱۹۹۹ | ۸ | ۵۱ | ۱٫۱۳ | ۲۳٫۳ | ۷٫۳ | ۱۹۰ | ۳۶ | ۱٫۹ | ۷۴ | ۳٫۷۵ |
| BH6-3 | ۰٫۳ | ۳۸۳۶۶ | ۲۵.۲ | ۹۰۷۲۵ | ۰٫۲۳ | ۱۷ | ۹ | ۲۳ | ۱۲ | ۴۶۴۳۰ | ۱۳ | ۲ | ۳۱۵۴ | ۱۱۲۲ | ۰٫۵۹ | ۷ | ۱۱۷۵ | ۱۸ | ۸۷ | ۱٫۱۵ | ۲۸٫۸ | ۷٫۳ | ۲۲۳ | ۱۷ | ۱٫۱ | ۴۰ | ۳٫۷۵ |
| BH6-30 | ۰٫۲۲ | ۹۰۱۸۵ | ۲.۴ | ۶۴۱۶۹ | ۰٫۱۹ | ۳۸ | ۱۶ | ۶ | ۴۶۷ | ۴۰۷۲۷ | ۳۰ | ۲۶ | ۱۲۹۴۰ | ۱۰۰۸ | ۰٫۸۳ | ۹ | ۱۸۸۲ | ۷ | ۵۶ | ۱٫۰۷ | ۲۰٫۹ | ۷ | ۱۶۶ | ۳۴ | ۱٫۷ | ۷۷ | ۵ |
| BH6-31 | ۰٫۲۳ | ۹۸۳۵۸ | ۳.۵ | ۶۳۹۱۸ | ۰٫۲ | ۴۰ | ۱۶ | ۹ | ۱۲۷ | ۴۰۱۵۶ | ۳۰ | ۱۲ | ۱۱۳۵۸ | ۱۰۷۷ | ۱ | ۱۰ | ۲۰۲۵ | ۷ | ۵۹ | ۰٫۹۹ | ۲۱٫۷ | ۷٫۸ | ۱۶۴ | ۳۴ | ۱٫۸ | ۵۷ | ۳٫۷۵ |
| BH6-32 | ۰٫۲۳ | ۴۲۱۴۸ | ۳.۸ | ۸۱۰۴۷ | ۰٫۲۱ | ۴۴ | ۱۱ | ۴ | ۱۴ | ۳۵۲۱۹ | ۳۱ | ۳ | ۱۱۶۵۶ | ۱۹۰۳ | ۰٫۷۸ | ۵ | ۲۳۷۲ | ۸ | ۶۷ | ۱٫۰۲ | ۲۴٫۹ | ۸٫۵ | ۱۷۰ | ۴۰ | ۲ | ۳۲ | ۳٫۷۵ |



[ DOI: 10.61186/ijcm.32.4.629 ]




**شکل ۱۲** طیف XRD نمونه .KP-7.




**شکل ۱۳** طیف XRD در نمونه KP-15.

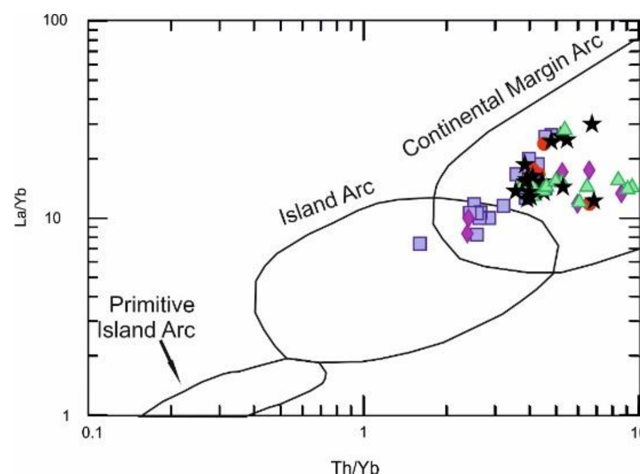
نتایج ICP-AES در نمودار La/Yb نسبت به Th/Yb نشان می‌دهد که نمونه‌ها در گستره کرانه حوضه پشت کمانی قرار دارند (شکل ۱۴). به طور کلی داده‌های زمین‌شیمی منطقه خانکشی، نشانگر رخداد آتشفشانی و تشکیل واحدهای سنگی آتشفشانی در این منطقه در اثر فرایند کششی است. در شکل ۱۴، با توجه به تعداد محدود نمونه‌های برداشت شده سطحی برای ICP-AES، از نتایج ICP-AES مربوط به گمانه‌های شماره ۶ و ۷ استفاده شد.

**دما فشارسنجی میانبارهای سیال**

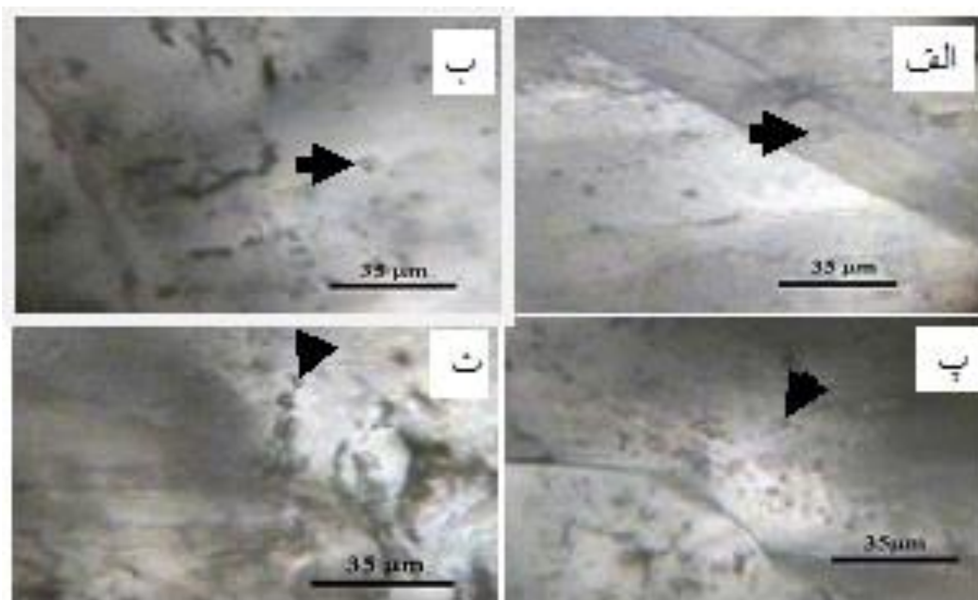
برای بررسی سیال‌های درگیر کانسار مس منطقه خانکشی، ۵ نمونه از کلسیت‌های همراه با رگه‌های سولفیدی انتخاب شدند. این رگه‌ها همراه با کالکوپیریت، بورنیت و کالکوسیت هستند. بررسی میانبارهای سیال به منظور تعیین شرایط فیزیکوشیمیایی سیال‌های عامل کانه‌ساز چون شوری، فشار، دما و تعیین مراحل تکامل سامانه گرمابی و کانه‌سازی در ارتباط با آن انجام شد. همچنین برای بررسی میانبارهای سیال، شش مقطع دوبر صیقلی تهیه گردید که پس از انجام سنگ‌-نگاری میانبارهای سیال آنها، چهار نمونه برای اندازه‌گیری‌های ریزدماسنجی انتخاب شد. بیشتر میانبارها کروی، بی‌شکل، نیمه‌شکل‌دار، شکلدار و کشیده هستند (شکل ۱۵). این میانبارها به صورت اولیه، ثانویه و شبه ثانویه بوده و به صورت مجزا و انباشت میانباری واحد هستند. میانبارهای دوفازی غنی از مایع، دارای بیشترین فراوانی هستند و همه اندازه‌گیری‌ها روی این میانبارها انجام شد. ۷۵ تا ۹۰ درصد حجم این میانبارها را فاز مایع تشکیل می‌دهد و همگن‌شدگی در این میانبارها در فاز مایع صورت می‌گیرد. دمای همگن‌شدگی میانبارهای دوفازی بررسی شده بین ۱۲۹٫۴ تا ۲۲۷٫۱ درجه سانتی‌گراد متغیر است. از این میان، دمای ۱۷۵ درجه سانتیگراد بیشترین فراوانی را دارد که نشان می‌دهد که دمای سیال‌های کانه‌دار در این کانسار در گستره درونزادی تدفینی است. درجه شوری میانبارهای سیال از ۱٫۹۱ تا ۱۳٫۴ درصد وزنی نمک طعام تغییر می‌کند و به طور متوسط بیشترین مقدار شوری حدود ۱۲ درصد وزنی نمک طعام است. با بررسی


[ DOI: 10.61186/ijcm.32.4.629 ]

میانبارهای سیال از رگچه‌های کلسیتی همراه با کانی‌سازی مس در منطقه خانکشی مشخص گردید که سیال تشکیل دهنده این رگه‌ها دمای متوسط حدود ۱۷۵ درجه سانتی‌گراد و شوری متوسط حدود ۱۲ درصد وزنی معادل نمک طعام داشته است که می‌تواند نشانگر شکل گرفتن سیال‌ها از آب‌های درون حوضه‌ای با شوری متوسط باشد که تأییدی بر تشکیل سیال‌ها از فرآیندهای تدفینی است. از سویی، این شوری نشانگر حمل-شدگی مس توسط لیگاندهای کلریدی است [۲۳]. از این رو، گستره مس خانکشی از نوع کانسارهای دما پایین و شوری متوسط است. با استفاده از دمای همگن‌شدگی و شوری بر پایه نمودار مرجع [۲۴]، امکان تعیین ژرفای تشکیل سیال‌ها و کانی‌سازی وجود دارد. عمق به دام افتادن سیال‌ها در این کانسار کمتر از ۲۰۰ متر و فشار کمتر از ۷۴ بار بوده است. هم پوشی آشکاری میان گستره دما و شوری منطقه خانکشی با منطقه کانسارهای مانتو شیلی وجود دارد. این منطقه با توجه به ویژگی‌های سیال‌ها و کانه‌زایی، قابل مقایسه با معدن بزرگ مس عباس آباد، شاهرود و ذخایر نوع مانتو شیلی است (شکل ۱۵ ت). این کانسارها دارای گستره دمای تشکیل از ۱۵۰ تا ۳۶۰ درجه سانتی‌گراد و دارای فشار پایین و نزدیک به منحنی جوشش است [۲۶،۲۵]. دامنه تغییرات شوری این کانسارها متغیر و از ۱/۵ تا ۶۲ درصد وزنی معادل نمک طعام است.




**شکل ۱۴** برروی نمودار La/Yb نسبت به Th/Yb که بر پایه آن نمونه‌های مورد بررسی در موقعیت حوضه پشت کمانی قرار دارند.




**شکل ۱۵** الف) میانبار دوفازی غنی از مایع منفرد؛ ب) میانبار تک فازی مایع منفرد؛ پ) میانبار دو فازی غنی از مایع منفرد؛ ت) دو میانبار تک فازی مایع منفرد.

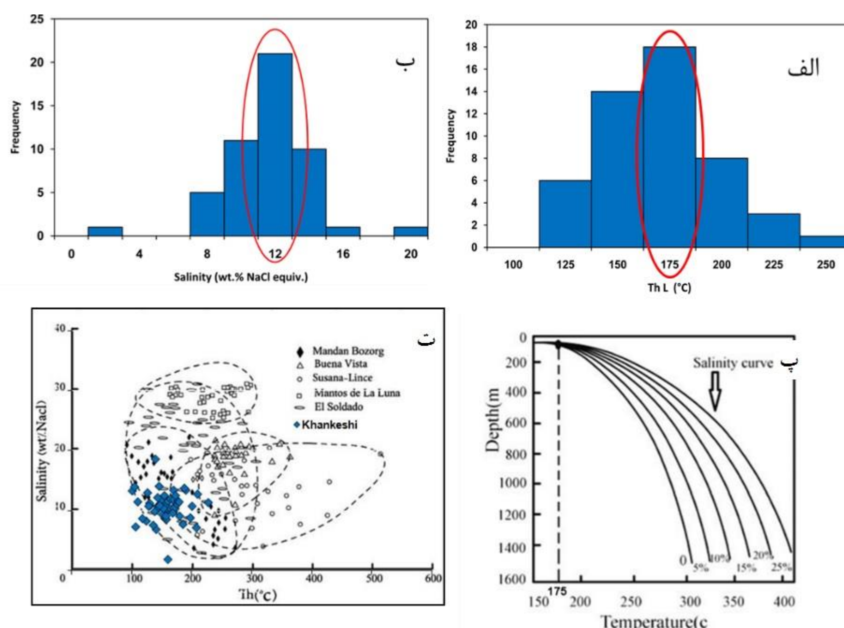

[ DOI: 10.61186/ijcm.32.4.629 ]

تغییرات در دمای همگن‌شدگی سیال‌ها و شوری کانسارهای مس نوع شیلی نشانگر شکل‌گیری آنها از شورابه‌های حوضه‌ای است (شکل ۱۶). با توجه به بررسی‌های میانبارهای سیال در رگچه‌های کلسیتی، گستره مس خانکشی از نوع کانسارهای دما پایین و شوری متوسط است. محاسبه چگالی هر میانبار نشان می‌دهد که سیال گرمابی در زمان به دام افتادن به شکل فاز مایع و با چگالی ۰٫۹۸ گرم بر سانتی مترمکعب بوده است [۲۷] (شکل ۱۷).

**برداشت**

بررسی‌های انجام شده در منطقه معدنی خانکشی، می‌تواند منجر به پی‌جویی کانسارهای مس از این نوع در کمان ماگمایی ارومیه- دختر گردد. با توجه به حضور کانی‌های همیافت، دگرسانی پروپیلیتیک در کنار دیگر دگرسانی‌ها، دگرسانی معمول خانکشی است که شدت آن در کانه‌زایی سنگ میزبان بیشتر است. براساس نتایج XRD، کانی‌های آلبیت، کلسیت، کوارتز و کائولینیت در فاز اصلی حضور دارند که نشانگر حضور دگرسانی پروپیلیتی است و به مقدار کمتر دگرسانی آرژیلیک و اکسایش آهن را نشان می‌دهند. همچنین با توجه به بررسی-های زمین‌شیمی، این منطقه نشانگر رخداد آتشفشانی است و این سنگ‌ها از نوع آتشفشانی هستند و از نظر سری ماگمایی، ماهیت قلیایی پتاسیم بالا دارند و از دیدگاه زمین‌ساختی، در اثر فرایندهای کششی در کرانه حوضه پشت کمانی قرار دارند.

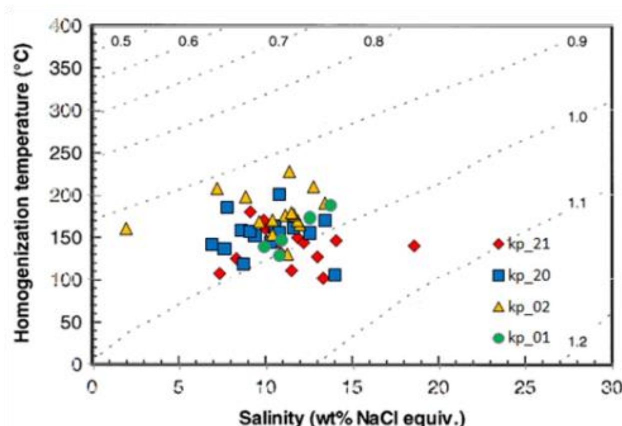
تشکیل انبوهه‌های پیریت از آنجا که به کانی‌زایی تقدم دارد و از سویی، همزاد است، می‌تواند عاملی بر تغذیه گوگرد به صورت کمپلکس بی‌سولفیدی و آهن به صورت کمپلکس کلریدی برای کانی‌سازی‌های بعدی به شکل ذخایر نوع مانتو باشد. بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی میانبارهای سیال در رگچه‌های کلسیتی در ارتباط با کانی‌سازی سولفیدی و بررسی عمق به دام افتادگی سیال‌ها نشان می‌دهد که گستره مس خانکشی از نوع کانسارهای دما پایین و شوری متوسط است. مهمترین عامل ته‌نشست کانسنگ مس فرایند آمیختگی همدما با سیال-های درونزادی با شوری پایین‌تر است. از سویی، نزدیکی و همپوشی آشکاری میان گستره‌های دما و شوری منطقه خانکشی با کانسارهای مانتو شیلی وجود دارد و نشان می‌دهد که این منطقه قابل مقایسه با کانسارهای نوع مانتو است. در کمان ماگمایی ارومیه دختر، کانه‌زایی نوع مانتو کمتر مورد توجه بوده است، در حالی که می‌تواند به عنوان دومین الگوی اکتشافی مهم مس پس از کانسار مس پورفیری در ایران مورد توجه باشد. از آنجا که سن واحدهای سنگی منطقه مورد بررسی ائوسن است، بخش‌هایی از کمان ماگمایی ارومیه- دختر که رخداد کشش عامل تشکیل آتشفشانی‌های ائوسن بوده است، می‌توانند برای پی‌جویی کانسارهای نوع مانتو مستعد باشند.




**شکل ۱۶** الف) توزیع فراوانی دمای همگن‌شدگی در گستره مس خانکشی؛ ب) نمودار ستونی مقادیر شوری در گستره مس خانکشی؛ پ) داده‌های میانبار سیال در گستره مس خانکشی روی نمودار ژرفای به دام افتادن میانبارهای سیال؛ ت) گستره دما و شوری میانبارهای سیال در منطقه خانکشی و مقایسه آن با داده های دما و شوری معدن بزرگ عباس آباد و چند کانسار مس نوع مانتو در شیلی [۲، ۱۸، ۲۵، ۲۶].



[ DOI: 10.61186/ijcm.32.4.629 ]




**شکل ۱۷** نمودار دمای همگن‌شدن نسبت به شوری برای میانبارهای سیال نمونه‌های مورد بررسی. خطوط چگالی بر پایه رابطه مرجع [۲۷] و نرم افزار FLINCOR محاسبه شده‌اند. چگالی میانبارهای سیال حدود ۱ گرم بر سانتی متر مکعب است که نشان می‌دهد که فاز سیال در زمان به دام افتادن به صورت مایع بوده است.

**قدردانی**

این پژوهش با حمایت مالی شرکت معدنی حدیدگستر سیرجان به انجام رسیده است. نگارندگان از زحمات شرکت معدنی فوق الذکر و همه عزیزانی که در این پژوهش به نوعی کمک رسانی و همکاری نموده اند، نهایت سپاس و تشکر را دارد.

**مراجع**

[1] Nouri F., Azizi H., Stern R.J., Asahara Y., Khodaparast S., Madanipour S., Yamamto K., *"Zircon U-Pb dating, geochemistry and evolution of the late Eocene Saveh magmatic complex , Central Iran: Partial melts of Sub- Continental Lithospheric mantle and magmatic differentiation",* Lithos, 314-315, 274-292.

[2] Kojima S., Trista-Aguilera D., Hayashi K., *"Genetic Aspects of the Manto-type Copper Deposits Based on Geochemical Studies of North Chilean Deposits*", Resource Geology 59(1) (2008) 87 – 98.

[3] Maghfouri S., Movahadnia M., Lai C.K., *"Geology and oreogenesis of copper deposits of Abbas Abad Shahroud and their comparison with copper deposits of Manto type*", 18th conference of Geological Society of Iran (2014).

[4] Alizadeh V., Momenzadeh M., Emami M., *"Petrography, geochemistry, mineralogy, study of fluid intermediates and determination of the type of mineralization of Varzag Qain deposit*", Iranian Journal of Earth Sciences, No. 86 (2012) pp. 48-58.

[5] Behzadi M., *"Investigation of the economic geology of the copper index of Qibla Bolagh located in the Lower Tarem region- Zanjan province*", master's thesis in economic geology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University (1994).

[6] Abulipour M., *"Geology, mineralogy, geochemistry and copper mineralization of the boundary layer in Eocene volcanic-sedimentary rocks in Kashkouiye region, West Rafsanjan*", thesis. Master's degree in economic geology, Tarbiat Modares University, 301 p (2012).

[7] Boiri Kenari M., Rastad A., *"Varshidenjad Omran, N., 2014- Volcanic Red Bed type copper ore production in Mehki deposit, north of Bakhtar Safashehr, Sanandaj-Sirjan region*", Earth Sciences Quarterly, No. 93, pp. 19-36.

[8] Mehrabi B., Fazeli A., *"Investigating the type of copper mineralization in Vashnoh deposit (south of Qom province)*", 20th meeting of earth sciences (2001).

[9] Fazli N., Qaderi M., *"Copper mineralization of the Eastern Narbaghi mantle-type boundary layer in the Eocene sedimentary volcanic sequence, northeast of Saveh*", 33rd National Geosciences Meeting (2014).

[10] Lotfi M., Behrouzi A., Nogel Sadat A., Houshmandzadeh A., *"Geological map 1:250000 of Saveh*", Geological Organization of the country.

[11] Omidi M., Shahrabi M., *"Geological map 1:100,000 angle*", Geological Organization of Iran (2005).

[12] Farshidenjad L., *"Report on the end of the copper exploration operation in Yunus Abad (Khankashi)*" (2018).

[13] Fazli N., Qaderi M., Movahadnia M., Maghfouri S., *"Mantle-type copper mineralization*


[ DOI: 10.61186/ijcm.32.4.629 ]

[21] Haggan T., Parnell J., Cisternas M.E., *"Fluid history of andesite-hosted CuS-bitumen mineralization, Copiap district*", North Central Chile, J. Geoch. Exp. 78-79 (2003) 631-635

[22] Shen Y., Pan H., Li Z., Sun G., Li C., Feng H., Cao C., *"A Manto- type Cu deposit in the central Asian Orogenic belt: The Hongguleleng example (Xinjiang,China)*", Ore Geology Reviews, 124 (2020)103656.

[23] Oyarzun R., Ortega L., Sierra J., Lunar R., Oyarzun J., *"Cu, Mn, and Ag mineralization in the Quebrada Marquesa quadrangle, Chile: the Talcuna and Arqueros districts*", Mineralium Deposita, 33(6) (1998) 547-559.

[24] Haas J. I., *"The effect of salinity on the maximum thermal gradient of a hydrothermal system at hydrostatic pressure*", Economic Geology66 (1971) 940-946.

[25] Kojima S., Astudillo J., Rojo J., Trista D., Hayashi K., *"Ore mineralogy, fluid inclusion, and stable isotopic characteristics of stratiform copper deposits in the coastal Cordillera of northern Chile*", Mineralium Deposita 38 (2003) 208–216.

[26] Salehi L., Rasa A., Alirezaei S., Kazemi-Mehrnia A., *"The copper deposit of the large mine with a volcanic host, an example of mantle-type copper deposits, East Shahrood*", Journal of Earth Sciences, No. 98 (2014) pp, 93 - 104.

[27] Zhang Y.G, Frantz J.D.,*" Determination of the homogenization temperatures and densities of supercritical fluids in the system NaClKClCaCl2H2O using synthetic fluid inclusions*", Chemical Geology, 64(3-4) (1987) 335-350.

*in the middle part of Urmia-Dokhtar magmatic arc (Qom-Saveh district) with emphasis on eastern Narbaghi deposits*", northeast of Saveh. Geology of Iran, No. 15 (1400) 69-90.

[14] Jabari M., Shirkhani R., *"preparation of geological map 1/5000 of Khankashi area of Arak province* (2013).

[15] Bodnar R.J., *"Revised equation and table for determining the freezing point depression of H2O-NaCl solutions*", Geochimica et Cosmochimica Acta,V.57 (1993) 683-684.

[16] Wilson N.S.F., Zentilli M., *"Association of pyrobitumen with copper mineralization from the Uchumi and Talcuna districts*", central chile, International Journal of Coal Geology 65:158 (2006) 169.

[17] Kirkham R.V., *"Volcanic red bed copper, Geol.Sur. of Canada*", Canadian mineral deposit types, 8 (1996) 241-252

[18] Boric R., Holmgren C., Wilson N.S.F., Zentilli M., *"The Geology of the El Soldado Manto Type Cu (Ag) Deposit, Central Chile. In Porter, T.M. (Ed.)*", Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold & Related Deposits: A Global Perspective, V. 2, PGC Publishing, Adelaide 163-184.

[19] Wilson N.S.F., Zentilli M., Spiro B., *"A sulfur, carbon, oxygen, and strontium isotope study of the volcanichostedEl Soldado Manto-type Cu deposit*", Chile: The essential role of bacteria and petroleum, Econ Geol 98 (2003) 163–174

[20] Wilson N.S.F., *"Organic petrology, chemical composition, and reflectance of pyrobitumen from the El Soldado Cu deposit, Chile"*, International Journal of Coal Geology, v. 43 (2000) p. 53–82.